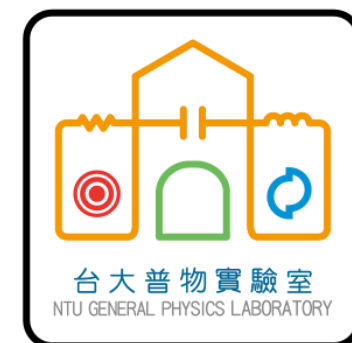


# 電生磁磁生電- 法拉第定律之多方驗證

第十一屆普通物理實驗創意設計競賽 精進類

物理一 陳庠宇 游雅翔 江奕霆



# 研究動機

如何以**定量方式**(普物實驗範圍)來驗證法拉第定律?

法拉第定律的感應電動勢是否能精準測量?

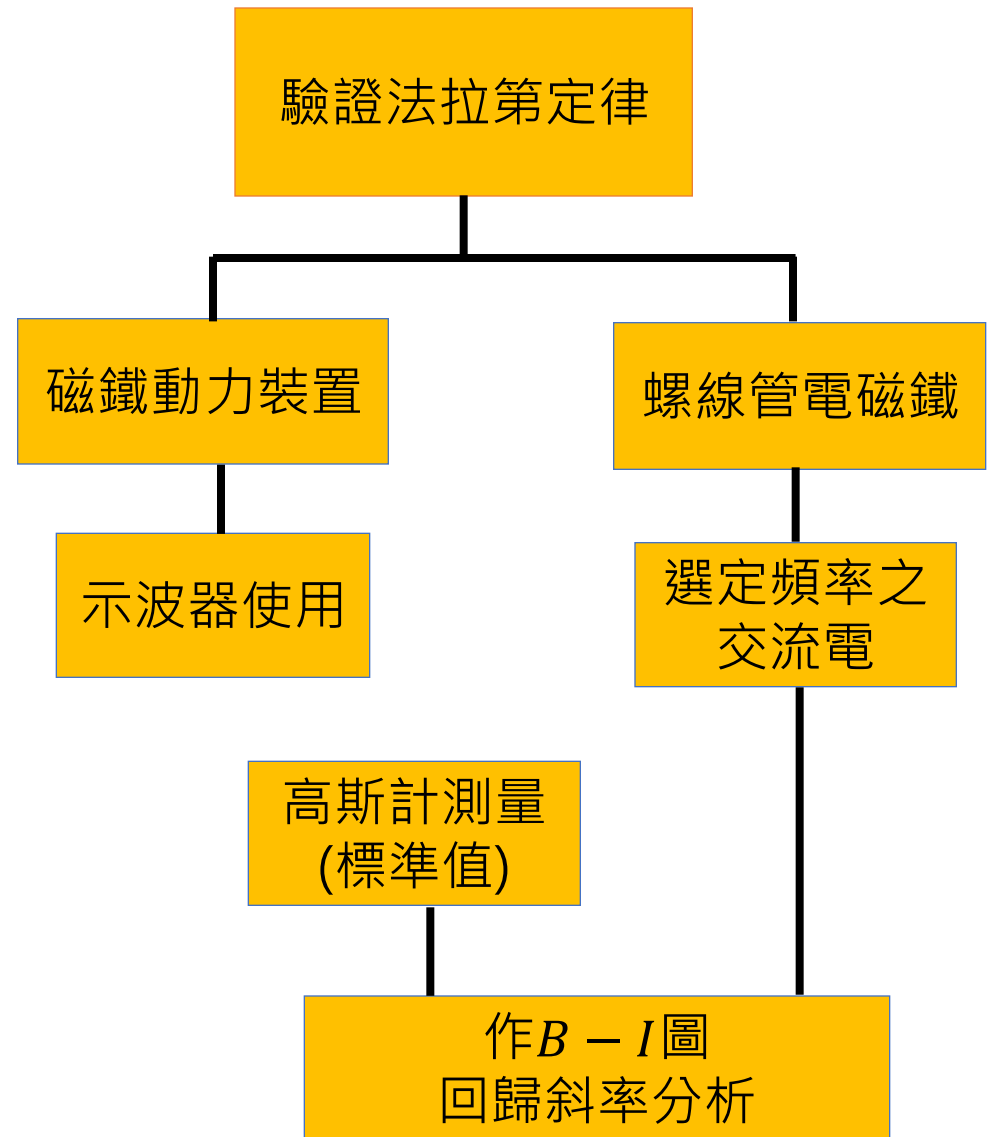
$$\text{Faraday's law: } \varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

# 摘要與架構

本研究嘗試以兩種方法驗證法拉第定律:

1. 以**強力磁鐵**製造**瞬時磁通量變化**，搭配**示波器**量測線圈的感應電動勢；以法拉第定律回推磁場強度，和**高斯計**測量之標準值做比較。

2. 將**螺線管電磁鐵**接上**交流電**，搭配示波器器測量線圈感應出的電動勢，以法拉第定律回推磁場強度，和**電磁鐵在直流電**下用**高斯計**測量之標準值做比較。



# 實驗設想 -- 1

目標: 使線圈之磁通量有瞬時變化

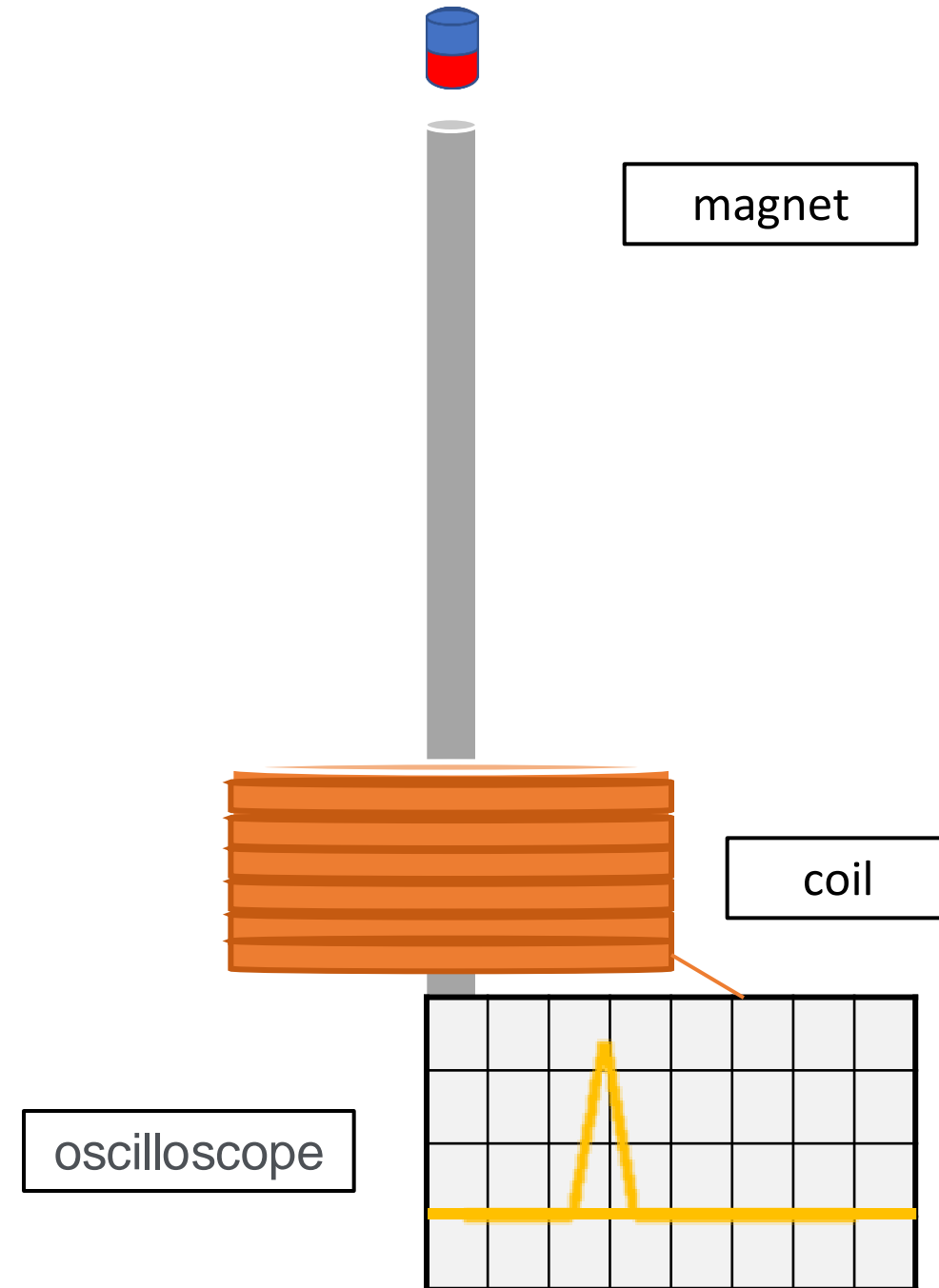
想法: 建立一個磁鐵動力裝置

(1) 以tracker測量磁鐵瞬時速率 $v$

(2) 取感應電動勢的量測峰值 $\varepsilon$

(3) 由下式求出磁通量隨距離之變化

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad , \quad \frac{\varepsilon}{v} = -N \frac{d\Phi_B}{dx}$$



# 遇到的困難

## 儀器

### 1. 三用電表 v.s. 示波器

需要能擷取**感應峰值**的儀器

### 2. 錄影器材限制

### 3. 選用線圈匝數、訊噪比問題

圖: 匝數高雖使峰值較大, 但也有較大的雜訊影響



## 強力磁鐵

磁鐵**末速率太慢** → 感應電動勢不易量測

磁鐵**翻轉與碰撞** → 感應電動勢數值不斷跳動

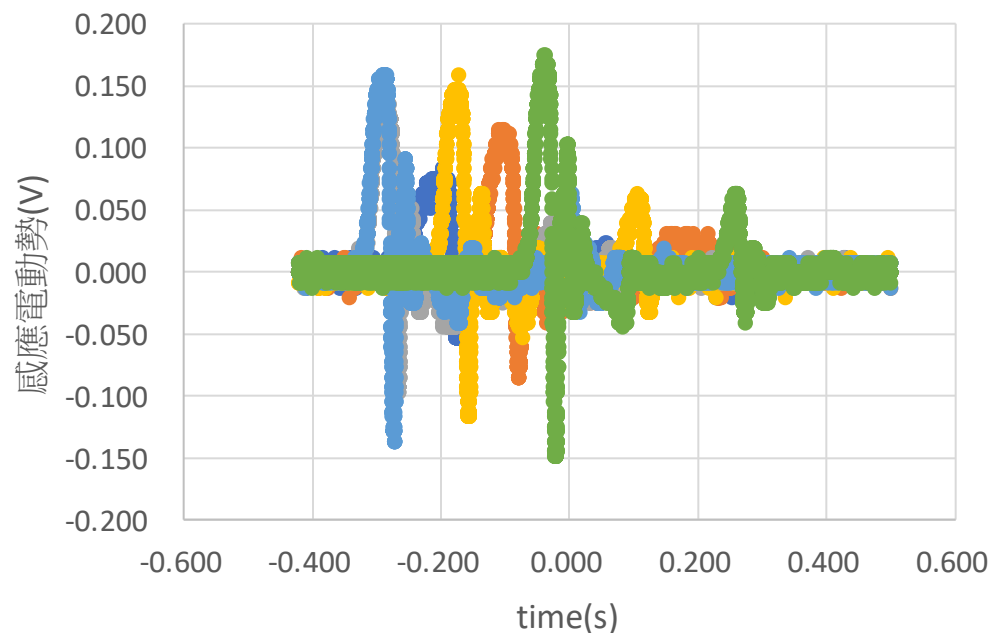


圖: 實測磁鐵運動時, 示波器顯示感應電動勢之峰值訊號

# 實驗方法 -- 2

目標：比較在**不同距離**、**相同電壓**下，  
高斯計與感應線圈測得**磁場強度**是否相同，  
並取得磁場對距離的衰減曲線

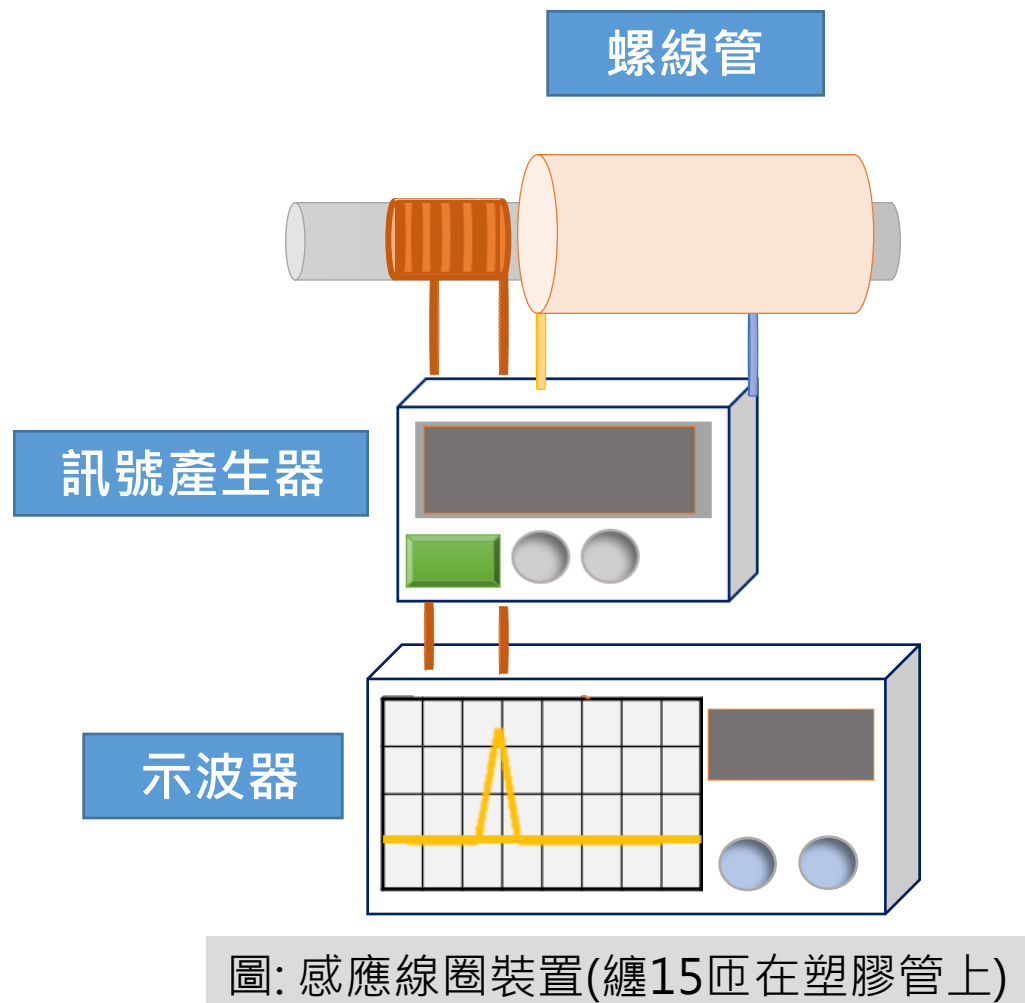
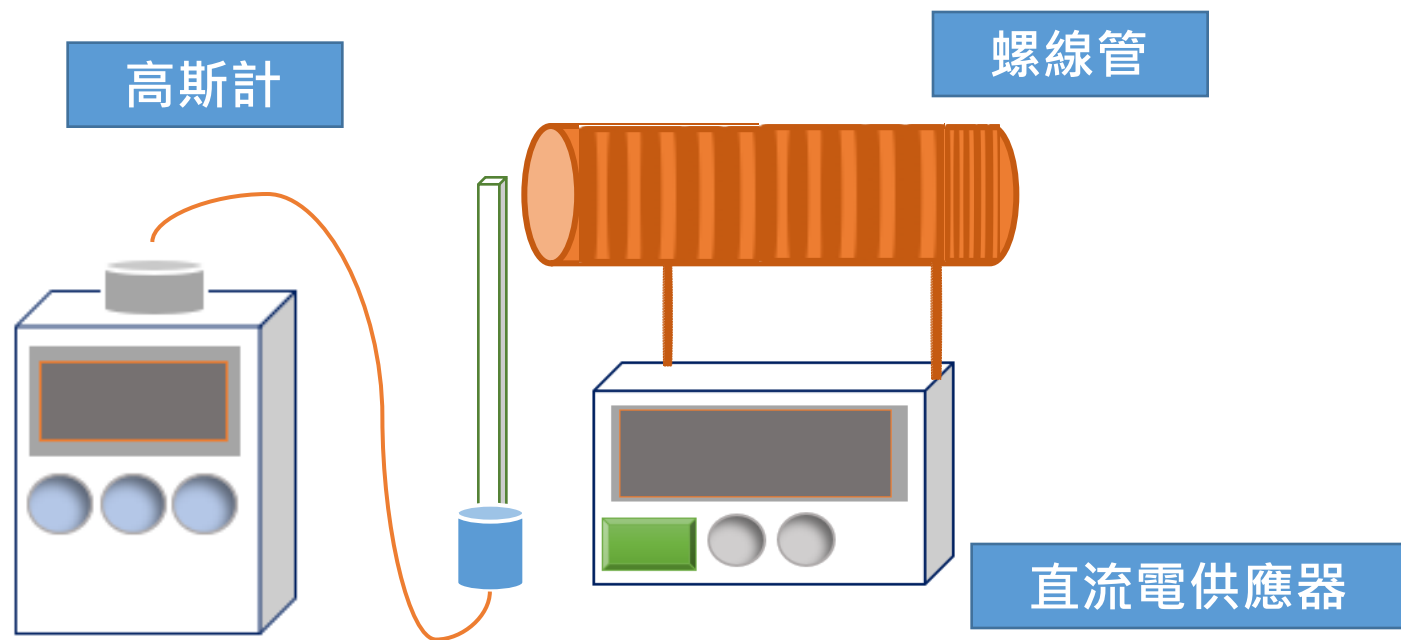


圖: 感應線圈裝置(纏15匝在塑膠管上)

圖: 高斯計裝置(螺線管電磁鐵)

# 實驗結果 -- 1

$$\varepsilon = NB_A\omega A \quad B_A = \frac{\varepsilon}{N\omega A}$$

距離 (cm)	$B_D$ (高斯) (7.9V)	$B_A$ (高斯)	$B_D/B_A$
0	93.22	4.038E-02	2309
0.5	68.95	3.008E-02	2292
1	54.49	2.200E-02	2477
1.5	41.32	1.671E-02	2473
2	30.21	1.253E-02	2411
2.5	23.24	9.747E-03	2384
3	18.85	8.355E-03	2256
3.5	14.46	6.544E-03	2210
4	11.88	4.957E-03	2396
4.5	8.78	4.066E-03	2159
5	8.26	3.119E-03	2649
5.5	7.23		
6	5.42		
6.5	4.39		

表: 高斯計測量值和感應線圈測量值之比較

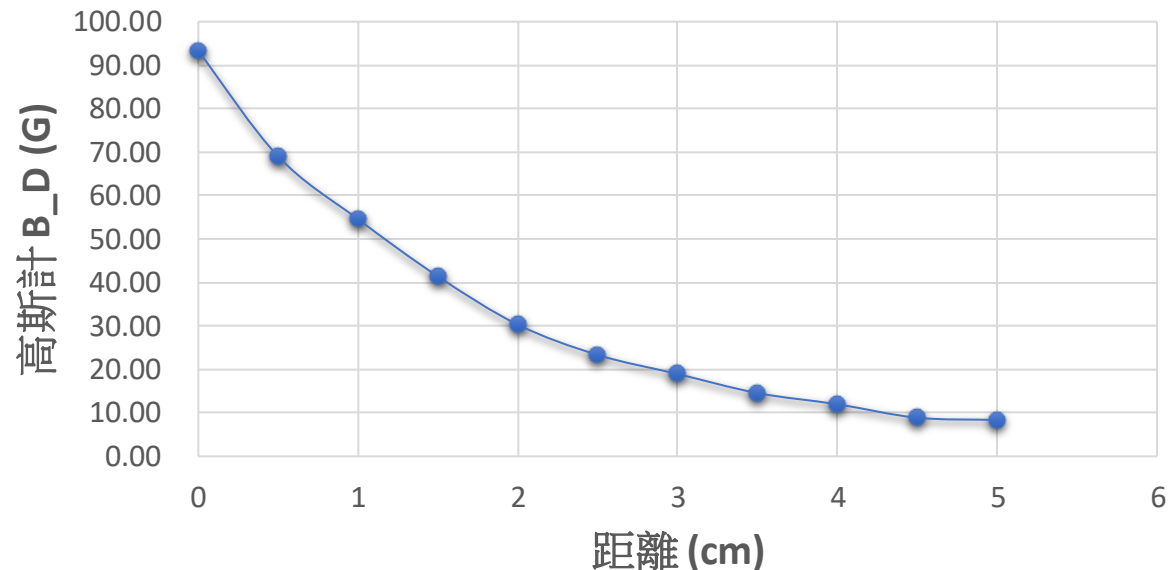


圖: 高斯計測量值(B\_D) – 距離

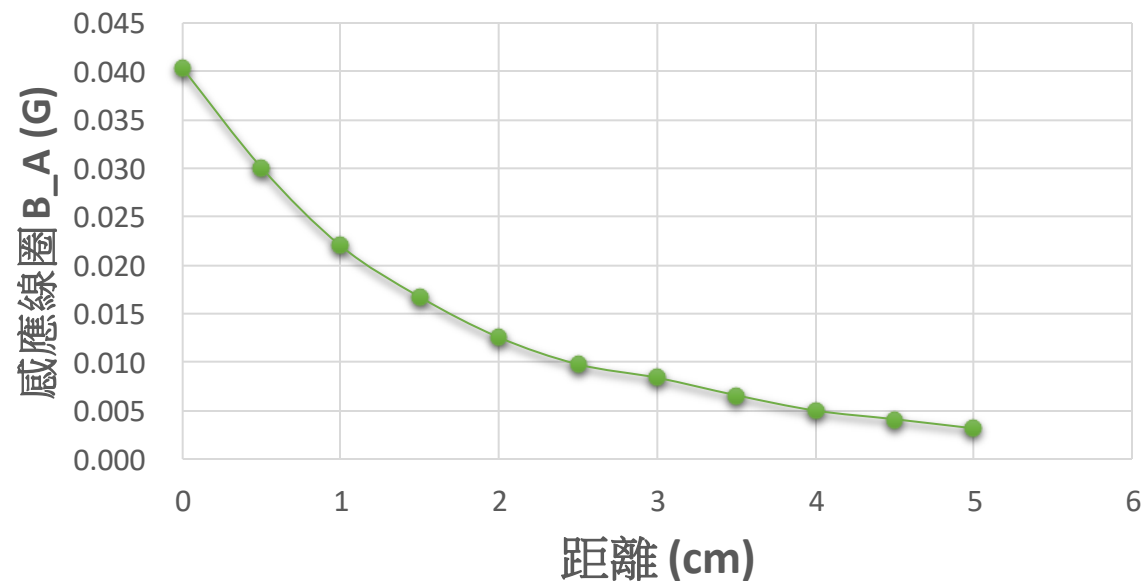


圖: 感應線圈測量值(B\_A) – 距離

# 修正

## 螺線管

$$1. V - j\omega LI - IR = 0$$

$$2. I = \frac{V}{j\omega L + R}$$

$$3. I_A = \frac{V_0}{\sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}}$$

$$4. I_D = \frac{V_0}{R}$$

$$5. \frac{I_D}{I_A} = \frac{\sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}}{R} = \frac{B_D}{B_A}$$

## 感應線圈

$$A. \varepsilon = NB_A \omega A$$

$$B. B_A = \frac{\varepsilon}{N\omega A}$$

$$C. B'_A = B_A \frac{\sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}}{R}$$



# 電阻、電感測量

$V - I$

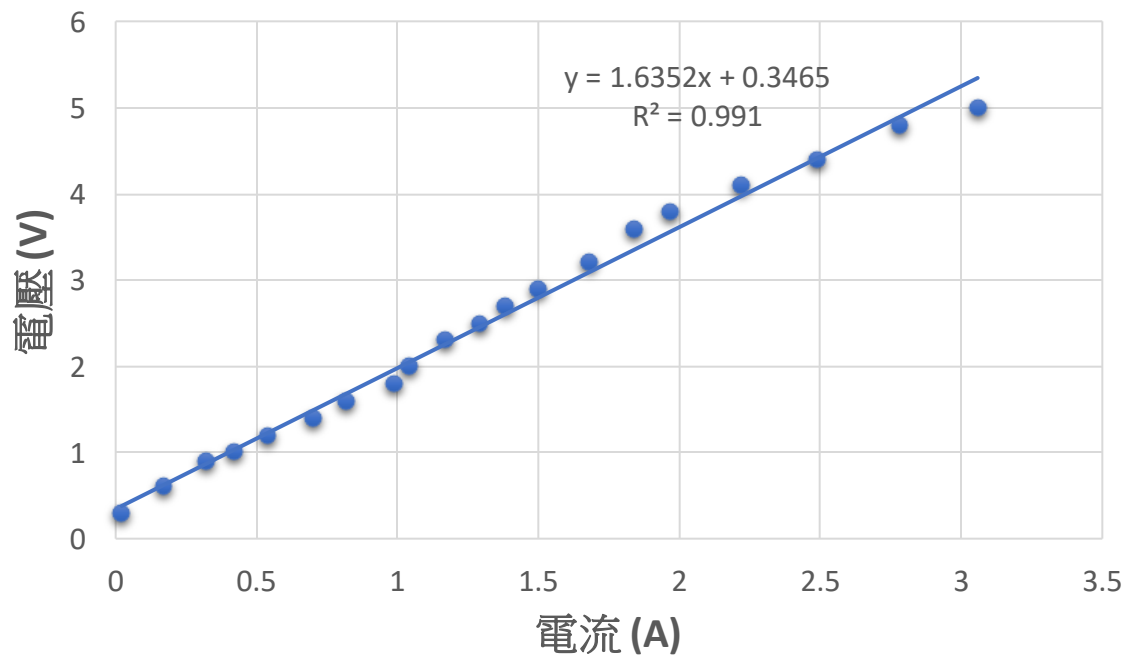


圖: 螺線管電阻測量, 得  $R = 1.635 \Omega$

$V_L/\omega - I$

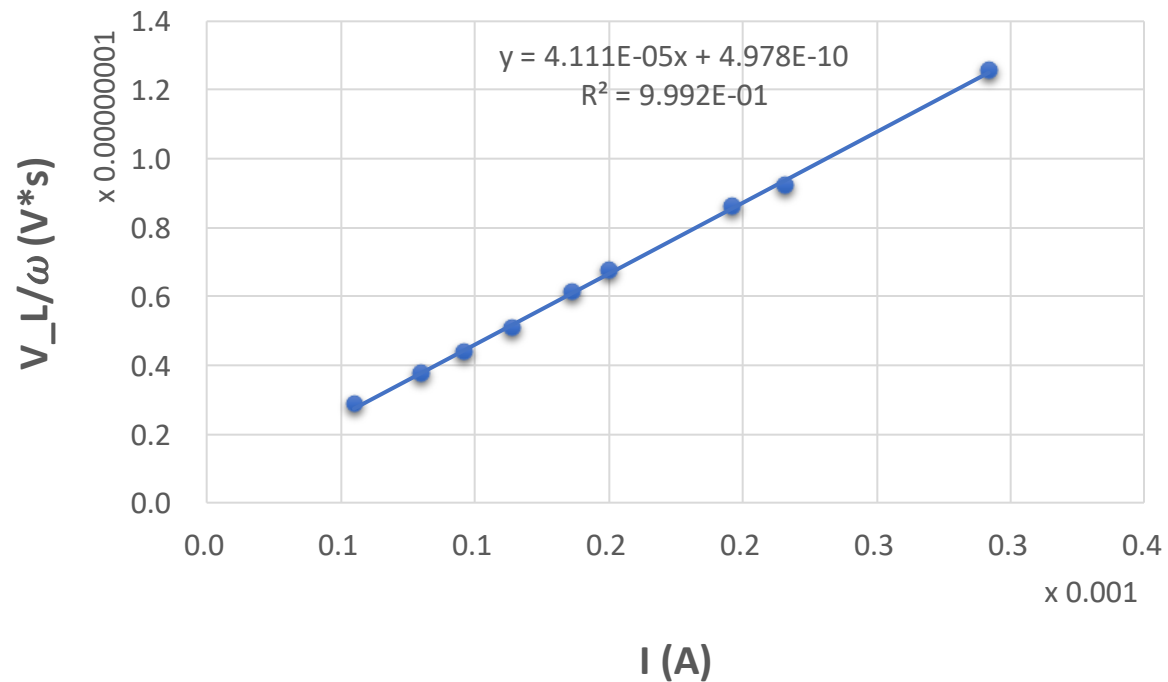


圖: 螺線管電感測量, 得  $L = 4.111 \cdot 10^{-5} H$

# 實驗結果 -- 2

B_D (高斯) (7.9V)	B_A (高斯)	B'_A (高斯) (修正後)	B_D/B'_A	B_D/B_A
93.22	4.038E-02	6.38	14.61	2309
68.95	3.008E-02	4.75	14.51	2292
54.49	2.200E-02	3.48	15.68	2477
41.32	1.671E-02	2.64	15.65	2473
30.21	1.253E-02	1.98	15.26	2411
23.24	9.747E-03	1.54	15.09	2384
18.85	8.355E-03	1.32	14.28	2256
14.46	6.544E-03	1.03	13.99	2210
11.88	4.957E-03	0.78	15.17	2396
8.78	4.066E-03	0.64	13.67	2159
8.26	3.119E-03	0.49	16.77	2649

表: 修正前後數據比較

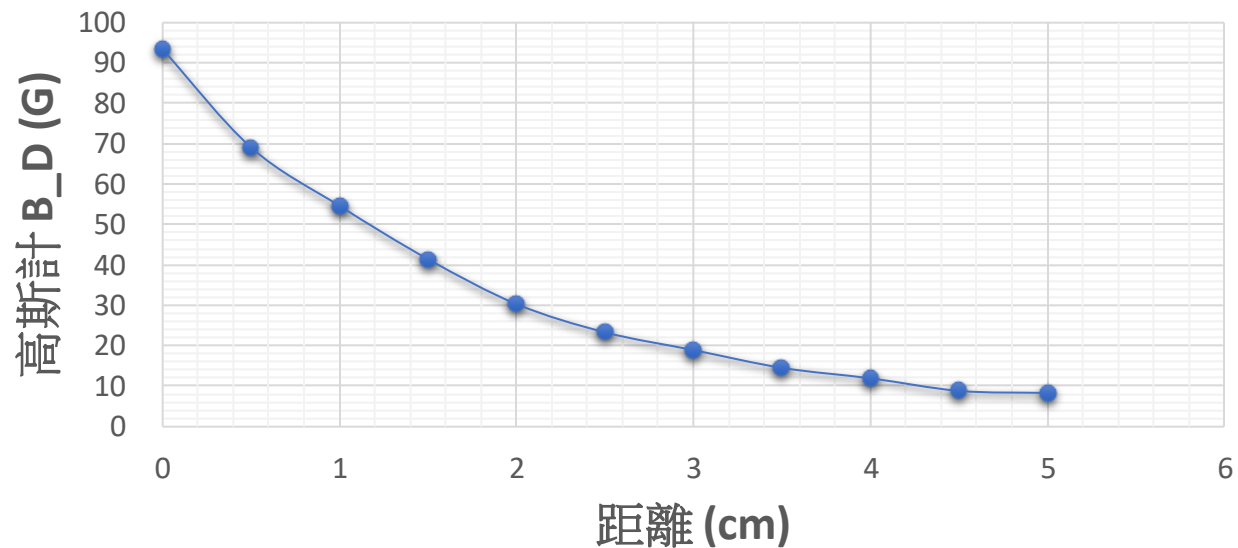


圖: 高斯計測量值(B\_D) - 距離

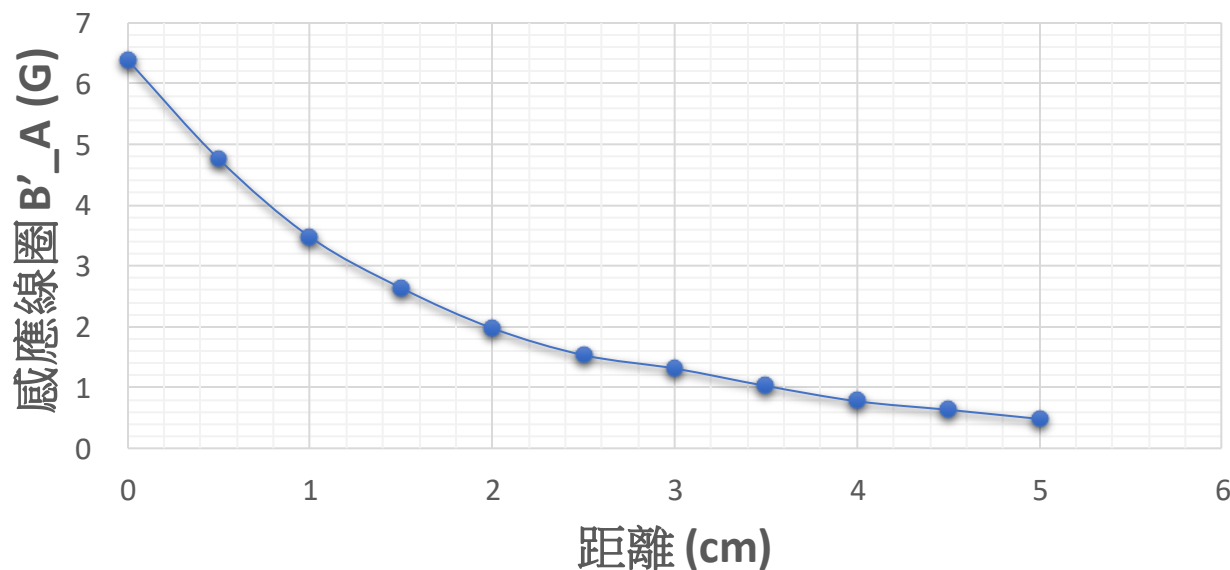


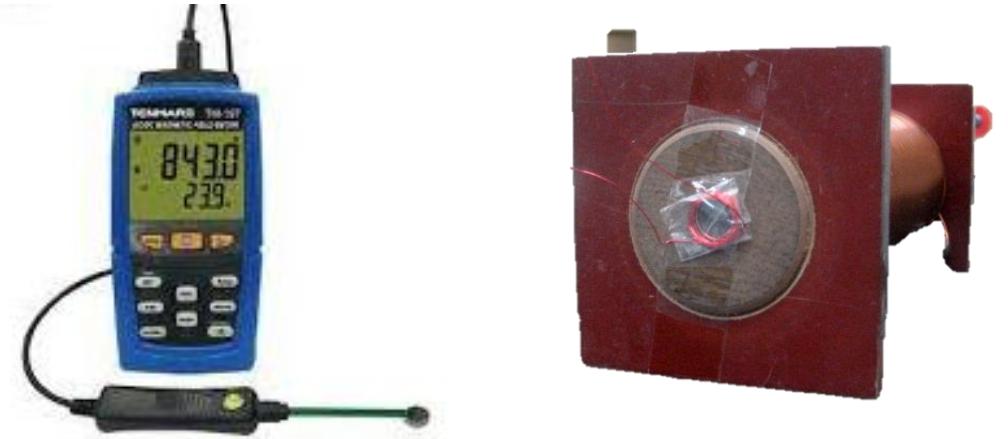
圖: 感應線圈測量值(B'\_A) - 距離

# 實驗方法 -- 3

目標：比較在定距離、相同電流下，高斯計與感應線圈測得**磁場強度**是否相同

## 高斯計

- (1) 螺線管接**直流電**，輸出電壓任意
- (2) 將探測棒平貼管口測量磁場強度
- (3) 改變直流電輸出電壓，重複測量
- (4) 作  $B - I$  圖，求取回歸直線斜率



## 感應線圈

- (1) 感應線圈貼齊螺線管口
- (2) 螺線管輸入**選定頻率之交流電**
- (3) **示波器**測量輸出電壓與感應電壓；  
改變交流電輸出電壓，重複測量
- (4) 作  $B - I$  圖，求取回歸直線斜率

# 相較先前實驗之改進

- 捨棄測量衰減曲線
- 感應線圈改為**7圈**
- 多次測量搭配回歸直線法求取斜率
- 接線的擺設調整

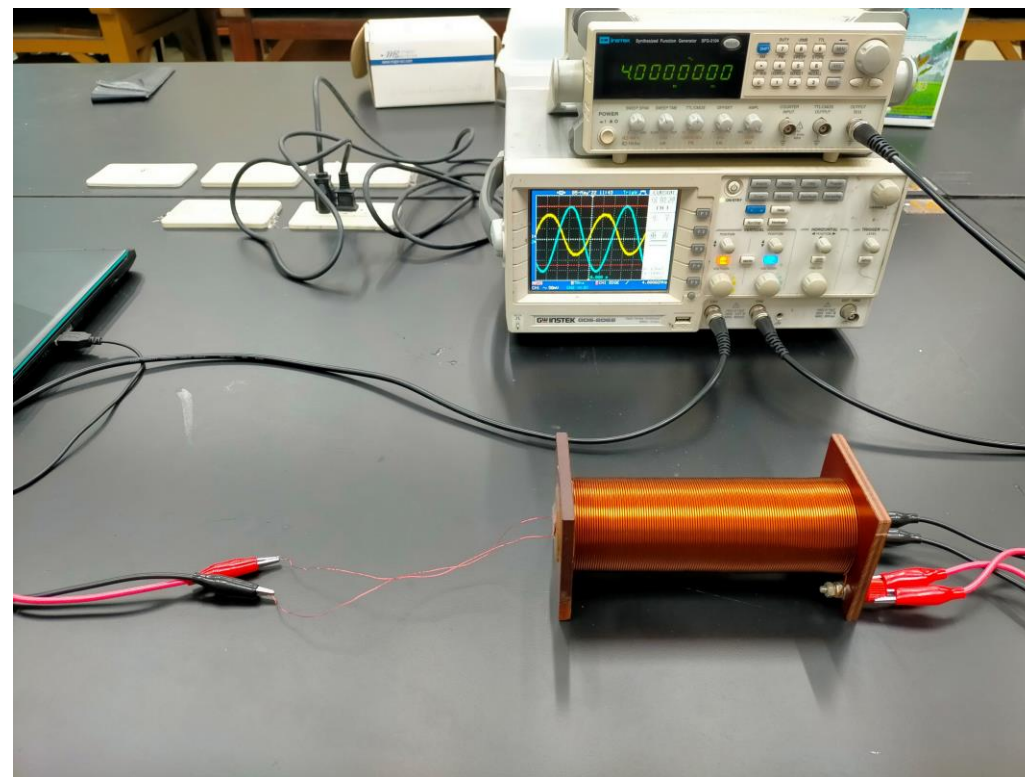


圖: 調整接線擺設後，使外在干擾減至最小

# 實驗結果 -- 高斯計

$$I = \frac{V}{R}$$

$$\frac{dB}{dI} = 2.018 \times 10^{-3} \text{ (T/A)}$$

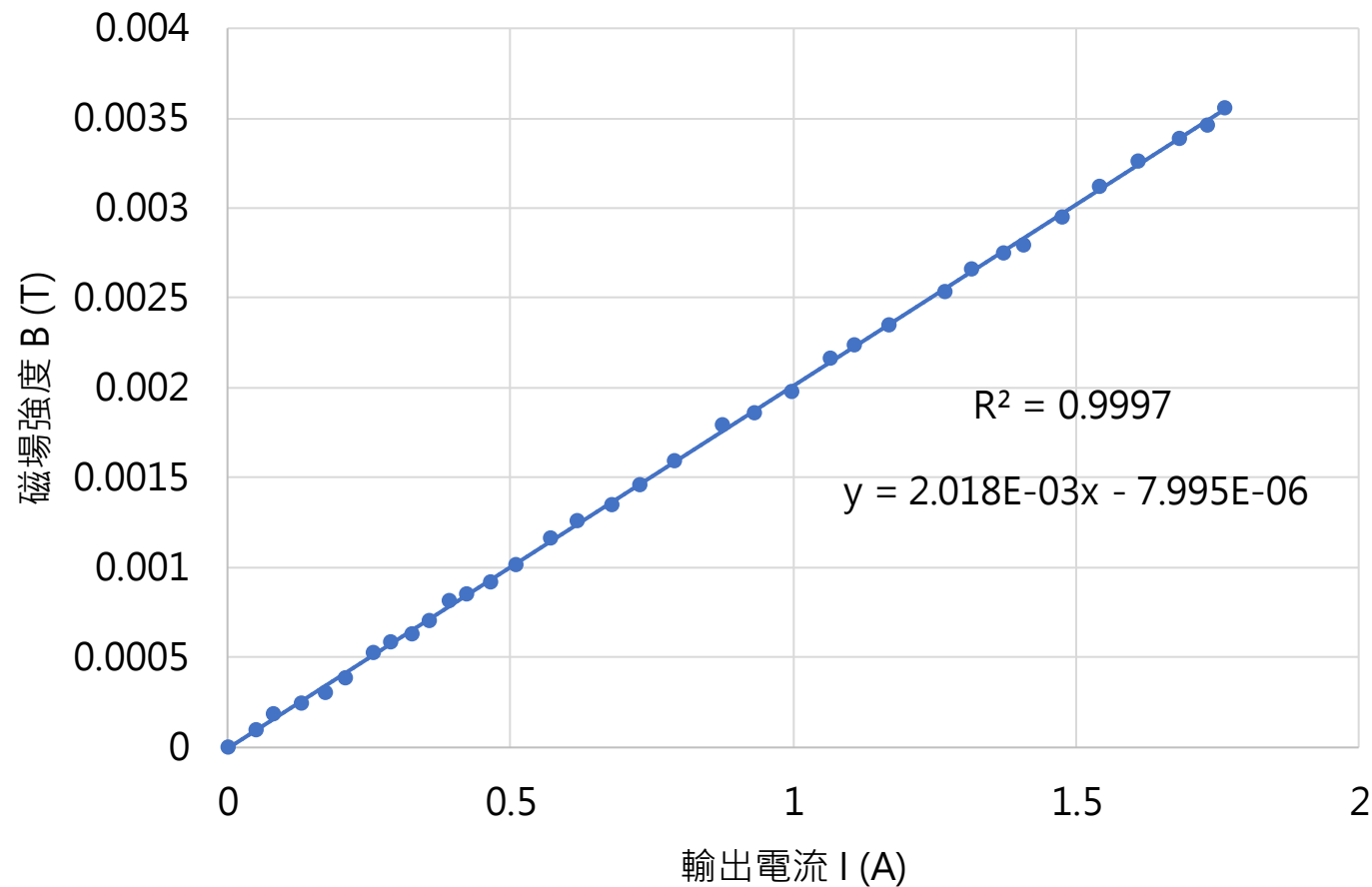


圖: 高斯計 B - I 圖

# 實驗結果-- 感應線圈

$$I = \frac{V}{\sqrt{(\omega L)^2 + R^2}} \quad \frac{dB}{dI} = slope \text{ (unit: } \frac{T}{A} \text{)}$$

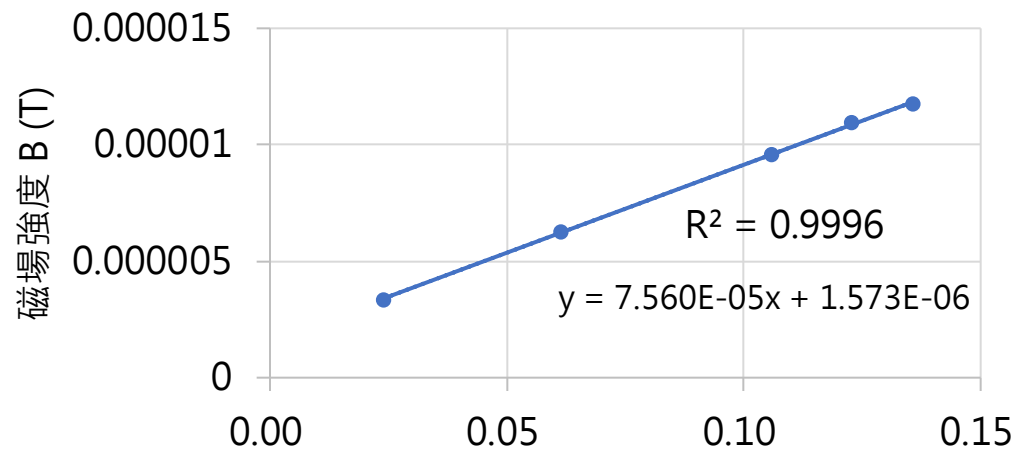


圖: 感應線圈 B - I 圖 (300 kHz)

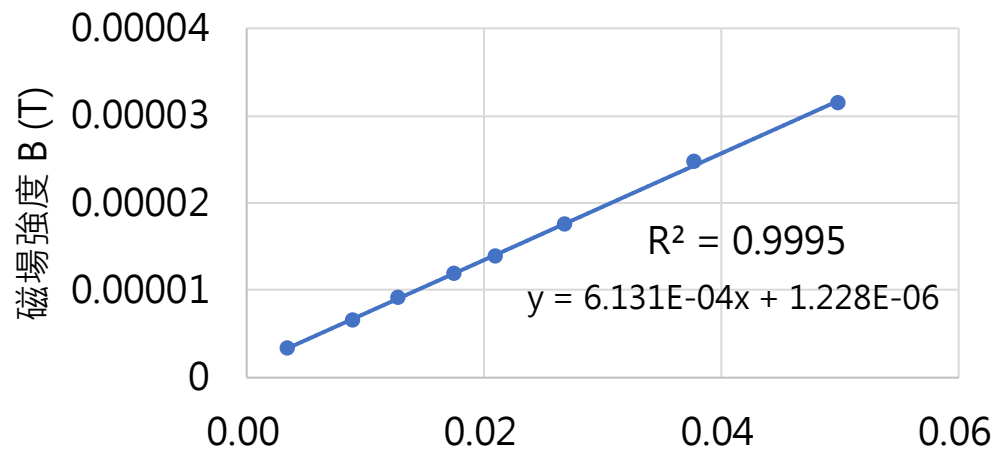


圖: 感應線圈 B - I 圖 (700 kHz)

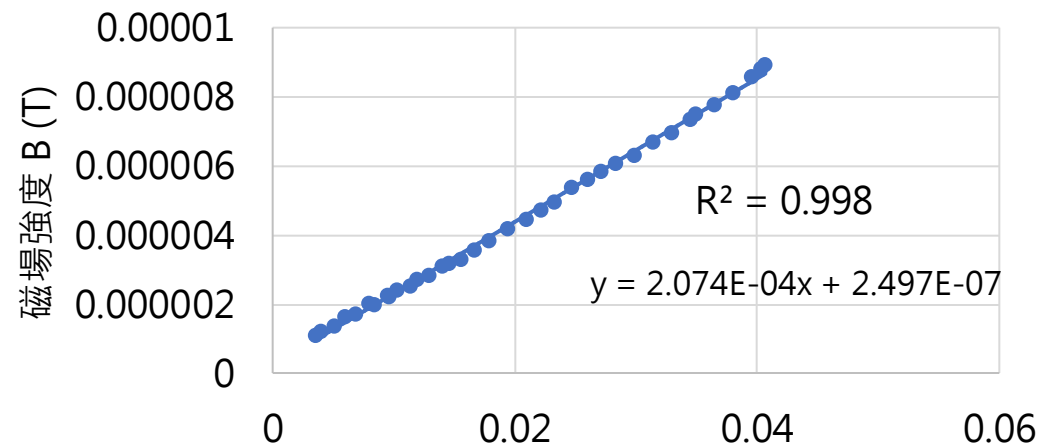


圖: 感應線圈 B - I 圖 (1 MHz)

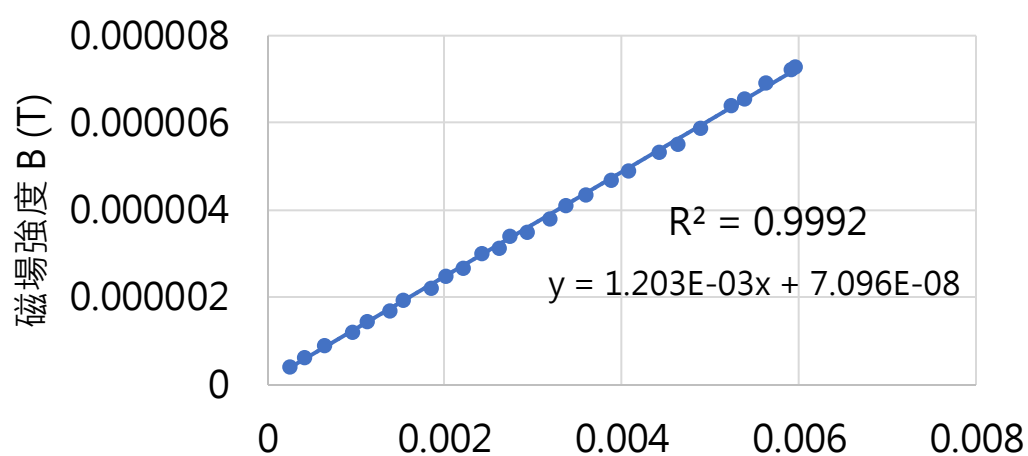


圖: 感應線圈 B - I 圖 (4 MHz)

# 實驗結果統整

- 高斯計(標準值)  $\frac{dB}{dI} = 2.018 \times 10^{-3} \text{ (T/A)}$
- 感應線圈 4MHz  $\frac{dB}{dI} = 1.203 \times 10^{-3} \text{ (T/A)}$  標準值的 59.61% ←最佳結果
- 感應線圈 1MHz  $\frac{dB}{dI} = 2.074 \times 10^{-4} \text{ (T/A)}$  標準值的 10.28%
- 感應線圈 700kHz  $\frac{dB}{dI} = 6.131 \times 10^{-4} \text{ (T/A)}$  標準值的 30.38%
- 感應線圈 300kHz  $\frac{dB}{dI} = 7.560 \times 10^{-5} \text{ (T/A)}$  標準值的 3.75%

# 結論

- 即使修正了螺線管自感，最大的感應電動勢仍然比理論值小，誤差約-40.42%
- 頻率的影響與頻率大小無正相關
- 頻率的問題影響巨大，可由此著手，找出影響因素，修正之



# 未來展望

- 找出頻率問題的成因，修正之。
- 將高斯計替換為霍爾元件，讓實驗更容易在實驗室內進行。

# 參考文獻

Introduction to Electrodynamics 4th edition by David J. Griffiths

University Physics third revised edition , Harris Benson